

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Takayuki YAMANO, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: METHOD FOR PREDICTING AN AMOUNT OF DIMENSIONAL ACCURACY DEFECT AT THE TIME OF PRESS-FORMING METAL SHEET



REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

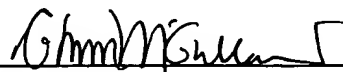
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2000-022773	January 31, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and  
(B) Application Serial No.(s)  
☐ are submitted herewith  
☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak  
Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124



22850

日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2000年 1月31日

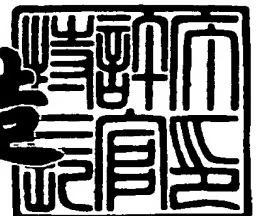
出 願 番 号  
Application Number: 特願2000-022773

出 願 人  
Applicant (s): 株式会社神戸製鋼所

2000年10月 6日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3081115

【書類名】 特許願

【整理番号】 26576

【特記事項】 特許法第 3 0 条第 1 項の規定の適用を受けようとする特  
許出願

【提出日】 平成12年 1月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B21D 1/00

【発明の名称】 金属板のプレス成形時における寸法精度不良量の予測方  
法

【請求項の数】 5

【発明者】

    【住所又は居所】 兵庫県加古川市金沢町 1 番地 株式会社神戸製鋼所 加  
古川製鉄所内

    【氏名】 山野 隆行

【発明者】

    【住所又は居所】 兵庫県加古川市金沢町 1 番地 株式会社神戸製鋼所 加  
古川製鉄所内

    【氏名】 岩谷 二郎

【特許出願人】

    【識別番号】 000001199

    【住所又は居所】 神戸市中央区脇浜町 1 丁目 3 番 1 8 号

    【氏名又は名称】 株式会社神戸製鋼所

【代理人】

    【識別番号】 100067828

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 小谷 悦司

【選任した代理人】

    【識別番号】 100075409

    【弁理士】

【氏名又は名称】 植木 久一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012472

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703961

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 金属板のプレス成形時における寸法精度不良量の予測方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 金属板のプレス成形時における寸法精度不良量を予測するに際し、応力-ひずみ関係として、降伏後は一定の応力値を有する弾完全塑性体モデルを採用すると共に、引張強度以下で降伏強度超の値をみかけの降伏強度として用いることを特徴とする金属板のプレス成形時における寸法精度不良量の予測方法。

【請求項 2】 前記みかけの降伏強度 ( $\sigma_p'$ ) として、実測の降伏強度  $Y_S$  と引張強度  $T_S$  に基づき下記 (1) 式により求められる内分値を用いる請求項 1 に記載の予測方法。

$$\sigma_p' = k \cdot Y_S + (1 - k) T_S \quad \dots\dots (1)$$

但し、 $k$  は内分値の係数

【請求項 3】 前記係数  $k$  を引張強度  $T_S$  と板厚  $t$  の比 ( $T_S/t$ ) の関数 [ $k = f(T_S/t)$ ] とする請求項 2 に記載の予測方法。

【請求項 4】 プレス成形時の壁反り量を、下記 (2) ~ (4) 式に基づいて求められる  $\rho$  によって予測する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の予測方法。

$$\rho = (3 \sigma_p' / E t) \cdot \{1 - D \cdot [(\sigma_T / T_S) - 0.3]^2\} - C \cdot (r_d - 5) \quad \dots\dots (2)$$

$$\sigma_p' = k \cdot Y_S + (1 - k) T_S \quad \dots\dots (3)$$

$$k = A \cdot (T_S / t) + B \quad \dots\dots (4)$$

但し、 $\rho$  : 壁反り量 (曲率;  $1/m$ )、 $\sigma_p'$  : みかけの降伏強度 (MPa)、 $E$  : ヤング率 (MPa)、 $t$  : 板厚 (mm)、 $T_S$  : 引張強度 (実測値; MPa)、 $Y_S$  : 降伏強度 (実測値; MPa)、 $\sigma_T$  : 壁部に働く張力 (MPa)、 $r_d$  : プレス成形用工具のダイ肩半径 (mm)、 $k$  : 内分値の係数、 $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  : 定数、を夫々示す。

【請求項 5】 プレス成形時の角度変化量を、下記 (5) ~ (8) 式に基づいて求められる  $\Delta\theta$  によって予測する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の予測方法。

$$\Delta \theta = -\theta \cdot (r_p + t / 2) \cdot \Delta \rho \quad \dots\dots (5)$$

$$\Delta \rho = (-3 \sigma_p' / E t) \cdot \{1 + \exp(-G \cdot r_p)\} \quad \dots\dots (6)$$

$$\sigma_p' = k \cdot YS + (1 - k) TS \quad \dots\dots (7)$$

$$k = A \cdot (TS / t) + B \quad \dots\dots (8)$$

但し、 $\Delta \theta$ ：角度変化量（度）、 $\theta$ ：曲げ角度（度）、 $r_p$ ：曲げ工具の肩半径（mm）、 $t$ ：板厚（mm）、 $\Delta \rho$ ：曲率変化量（1/m）、 $\sigma_p'$ ：みかけの降伏強度（MPa）、 $E$ ：ヤング率（MPa）、 $YS$ ：降伏強度（実測値；MPa）、 $TS$ ：引張強度（実測値；MPa）、 $k$ ：内分値の係数、 $A$ 、 $B$ 、 $G$ ：定数、を夫々示す。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、主に自動車車体に適用される薄鋼板やアルミ板等の金属板をプレス成形したときに生じる寸法精度不良量を予測する方法に関し、殊にプレス成形の離型後の弾性回復に起因する成形品の寸法精度不良量（主に壁反り量や角度変化量等）を、プレス成形前に予め簡単に且つ正確に予測することのできる方法に関するものである。

##### 【0002】

#### 【従来の技術】

自動車車体の多くの部品は、薄鋼板をプレス成形した部品から構成されているのが一般的である。しかしながら、これらの部品をプレス成形によって成形する際には、離型（成形後に金型から取り出すこと）後の弾性回復挙動によって、成形品の形状（寸法）が設計値から変化し、成形品同士の組み立て時や接合（多くはスポット溶接による接合）時に不具合が生じる場合がある。これらの不具合は、総称して寸法精度不良と呼ばれており、こうした寸法精度不良としては、壁反りや角度変化等様々なものが知られている（例えば、「プレス成形難易ハンドブック」第2版（1997）、第175頁、日刊工業新聞社）。

##### 【0003】

近年、自動車車体の軽量化や安定性の観点から、自動車車体には強度がより高

い薄鋼板や、鋼板と比べて軽量であるがヤング率の低いアルミ板が使用される機会が多くなっており、上記の様な寸法精度不良は顕著な問題となってきた。

【 0 0 0 4 】

こうした問題を解決し、寸法精度を更に向上させる手段としては、(A)新技術の開発、(B)見込み技術による調整、等が主に行われている。上記(A)の技術として本発明者らは、プレス末期にしわ押え力を強くして壁部に張力を付加することによって、壁反り量を軽減させる方法を提案している（特願平 1 1 - 2 0 3 7 5 1 号）。また上記(B)の技術としては、離型後の弾性回復量を予測し、金型寸法を目標製品寸法から弾性回復量の予測値を差し引いた値で作製し、離型後に正規寸法に調整する方法が知られている。

【 0 0 0 5 】

上記いずれの手段を採用するにしても、予め成形する金属板や成形条件等の情報に基づいて、成形後の寸法精度不良量をより正確に予測することは極めて重要である。

【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】

これまで、金属板のプレス成形後の寸法精度不良量を予測に当たっては、（１）熟練作業者の経験や、過去の結果の蓄積等によって予測する方法、（２）数値シミュレーションによって予測する方法、等が知られている。しかしながら、いずれの方法においても下記する様な問題があることが指摘されている。

【 0 0 0 7 】

上記（１）の方法では、経験・技術蓄積の少ない技術者では、正確な予測をすることは困難であり、実操業に適した方法とは言えない。一方、上記（２）の方法は、これまで「塑性と加工」[例えば、vol.36,no.410(1995)p203～210、vol.37,no.410(1996)p1352～1366等]に提案された種々の技術が知られているが、数値シミュレーションや数学等の専門知識が必要であり、またコンピューター等のシミュレーション設備が大型化するという問題がある。

【 0 0 0 8 】

本発明は、こうした状況の下でなされたものであって、その目的は、経験・技

術蓄積を有さない技術者が、数値シミュレーションや数学等の専門知識を有さずとも、金属板のプレス成形時における寸法精度不良量を、プレス成形前に予め簡単に且つ正確に予測することのできる方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成し得た本発明の予測方法とは、金属板のプレス成形時における寸法精度量を予測するに際し、応力-ひずみ関係として、降伏後は一定の応力値を有する弾完全塑性体モデルを採用すると共に、引張強度以下で降伏強度超の値をみかけの降伏強度として用いる点に要旨を有するものである。

【0010】

上記方法における具体的な構成としては、前記みかけの降伏強度（ $\sigma_p'$ ）として、実測の降伏強度YSと引張強度TSに基づき下記（1）式により求められる内分値を用いることが挙げられる。

$$\sigma_p' = k \cdot YS + (1 - k) TS \quad \dots\dots (1)$$

但し、kは内分値の係数

また、上記（1）式における前記係数kは、引張強度TSと板厚tの比（TS/t）の関数〔 $k = f(TS/t)$ 〕として表すことができ、具体的には  $0 < k < 1$  の範囲の値をとるものである。

【0011】

上記本発明方法において、プレス成形時の壁反り量を予測するに当たっては、下記（2）～（4）式に基づいて求められる $\rho$ によって予測する構成が挙げられる。

$$\rho = (3 \sigma_p' / Et) \cdot \{1 - D \cdot [(\sigma_T / TS) - 0.3]^2\} - C \cdot (rd - 5) \quad \dots\dots (2)$$

$$\sigma_p' = k \cdot YS + (1 - k) TS \quad \dots\dots (3)$$

$$k = A \cdot (TS / t) + B \quad \dots\dots (4)$$

但し、 $\rho$ ：壁反り量（曲率；1/m）、 $\sigma_p'$ ：みかけの降伏強度（MPa）、 $E$ ：ヤング率（MPa）、 $t$ ：板厚（mm）、 $TS$ ：引張強度（実測値；MPa）、 $YS$ ：降伏強度（実測値；MPa）、 $\sigma_T$ ：壁部に働く張力（MPa）



a)、 $r_d$  : プレス成形工具のダイ肩半径 (mm)、 $k$  : 内分値の係数、 $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  : 定数、を夫々示す。

## 【0012】

また、上記本発明方法において、プレス成形時の角度変化量を予測するに当たっては、下記(5)～(8)式に基づいて求められる $\Delta\theta$ によって予測する構成が挙げられる。

$$\Delta\theta = -\theta \cdot (r_p + t/2) \cdot \Delta\rho \quad \dots\dots (5)$$

$$\Delta\rho = (-3\sigma_{p'} / Et) \cdot \{1 + \exp(-G \cdot r_p)\} \quad \dots\dots (6)$$

$$\sigma_{p'} = k \cdot YS + (1 - k) TS \quad \dots\dots (7)$$

$$k = A \cdot (TS / t) + B \quad \dots\dots (8)$$

但し、 $\Delta\theta$  : 角度変化量 (度)、 $\theta$  : 曲げ角度 (度)、 $r_p$  : 曲げ工具の肩半径 (mm)、 $t$  : 板厚 (mm)、 $\Delta\rho$  : 曲率変化量 (1/m)、 $\sigma_{p'}$  : みかけの降伏強度 (MPa)、 $E$  : ヤング率 (MPa)、 $YS$  : 降伏強度 (実測値 ; MPa)、 $TS$  : 引張強度 (実測値 ; MPa)、 $k$  : 内分値の係数、 $A$ ,  $B$ ,  $G$  : 定数、を夫々示す。

## 【0013】

## 【発明の実施の形態】

本発明者らは、上記課題を解決するべく、様々な角度から検討した。その結果、上記構成を採用すれば、上記目的が見事に達成されることを見出し、本発明を完成した。以下、本発明が完成された経緯に沿って、本発明の作用・効果について図面に基づいて説明する。尚以下の説明では、説明の便宜上、寸法精度不良量を予測する対象部材として、自動車車体の部品に多く用いられるハットチャンネル部材を成形する場合を取り上げて説明するが、もとより本発明で寸法精度不良量を予測する部材はこうしたハットチャンネル部材に限定されるものではない。

## 【0014】

図1は、上記ハットチャンネル部材の外観形状例を示す説明図であるが、こうしたハットチャンネル部材の主な成形方法としては、図2に示す様な絞り成形方法〔図2(a)〕と、曲げ成形方法〔図2(b)〕がある。これらの成形方法において、特に問題となる寸法精度不良は、主に絞り成形時に発生する「壁反り」

現象と、主に曲げ成形時に発生する「角度変化」現象である。

【0015】

ハットチャンネル部材の設計（目標）形状（軸直角断面形状）が、図3（a）に示されたものとした場合に、「壁反り」現象は図3（b）の破線部分に示す様に、R止まり（Rはプレス成形用工具のダイ肩半径）間の壁部が反った現象である。また、「角度変化」現象は、図3（c）の破線部分に示す様に、曲げ部分の目標とする角度を $\theta$  [図3（a）] として、その角度よりも大きな角度 $\theta_1$ で成形される現象である。そして、壁反り量 $\rho$ は、前記Rの曲率（ $1/m$ ）で表わされ、角度変化量 $\Delta\theta$ は、目標角度 $\theta$ と成形後に形成された角度 $\theta_1$ との差（ $\theta_1 - \theta$ ）で表わされる。次に、これら壁反り量 $\rho$ や角度変化量 $\Delta\theta$ を予測する為の具体的方法について、以下詳細に説明する。

【0016】

絞り成形時には、成形される金属板は、プレス成形用工具（ダイ）肩部を通過する際に、曲げ・曲げ戻し変形を受けることになる。こうしたことから、成形時における壁部には、板厚方向表裏で異符号の応力差（引張り応力と圧縮応力の差）が生じる [後記図9、10参照]。この異符号の応力差によって板厚方向には曲げモーメントが生じているが、離型時に外力が除荷されると材料のもつ弾性のために変形が幾分戻る（弾性回復）。この弾性回復挙動こそが壁反りの原因であることが知られている（例えば、「プレス成形難易ハンドブック」第2版（1997）、第191頁、日刊工業新聞社）。尚、弾性回復挙動は上記曲げモーメントが0となるように生じ、板厚方向には後記図11（b）、（c）のようなひずみ、応力が残留する。

【0017】

また、壁反り量 $\rho$ に関して、下記①～⑤の傾向があることが知られている。尚、壁反りに及ぼす主な影響因子と壁反り量 $\rho$ との関係を図4に示す。

①金属材料の強度（引張強度TS）が大きくなるにつれて、壁反り量 $\rho$ も大きくなる [図4（a）]。

②金属板の板厚 $t$ が薄くなるにつれて、壁反り量 $\rho$ が大きくなる [図4（b）]。

③金属材料のヤング率  $E$  が小さくなるにつれて、壁反り量  $\rho$  が大きくなる [図 4 (c)]。

④プレス成形用工具のダイ肩半径  $r_d$  が大きくなるにつれて、壁反り量  $\rho$  が小さくなる (但し、ダイ肩半径  $r_d$  が極小の領域は除く) [図 4 (d)]。

⑤壁部に働く張力  $\sigma_T$  (しわ押え力) が大きくなるにつれて、壁反り量  $\rho$  が小さくなる (但し、張力が極小の領域は除く) [図 4 (e) の破線領域]。

【0018】

本発明者らは、上記知見に基づき、これらの傾向を正確 (定量的) に且つ簡便に予測できる予測式の実現を目指して、様々な角度から検討した。そして、まず本発明者らは、壁反り量予測の為の従来技術において、数値シミュレーション等の複雑な計算が行なわれている理由について考察した。その結果、その大きな理由の一つとして、従来技術では、変形 (ひずみ) 付加時の応力-ひずみ関係として、図 5 に示す様に現実に近い関係、即ち塑性ひずみの増加と共に応力も増加するという塑性変形域における加工硬化分も数値シミュレーションの直接的な対象として考慮しているからであると考えることができた。

【0019】

そこで本発明者らは、予測式をより簡略化する為に、現実の材料挙動とは異なるが、金属材料が加工硬化しないとする応力-ひずみ関係を想定し、こうした関係の中でより簡単な予測式を導くことを試みた。即ち、図 6 に示す様に、降伏後 (降伏強度  $\sigma_p$ ) は、応力は一定値で加工硬化しない塑性体 (こうした塑性体を一般に「弾完全塑性体」と呼ばれている) を仮定し、こうした塑性体に基づいて予測式を導くことを試みた。

【0020】

その結果、曲げ・曲げ戻し変形後の弾性回復による曲率変化量 (張力が非常に小さい場合の壁反り量  $\rho$ ) は、下記 (I) 式の様な簡単な式で表現できることが分かった。また、通常のプレス成形時に多く用いられている様な、ダイ肩半径が 3 ~ 20 mm 程度のダイを用いる場合には、(I) 式は下記 (II) 式の様に、更に簡略化した式で表現できることも判明した。

$$\rho = (3 \sigma_p / E t) \cdot \{1 - 7/3 \cdot [(2 \sigma_p / E t) \cdot r_d]^2\}$$

……(I)

$$\rho \doteq (3 \sigma_p / E t)$$

……(II)

但し、 $\rho$ ：壁反り量（曲率； $1/m$ ）、 $\sigma_p$ ：降伏強度（MPa）、 $E$ ：ヤング率（MPa）、 $t$ ：板厚（mm）、 $r_d$ ：プレス成形用工具のダイ肩半径（mm）、を夫々示す。

## 【0021】

上記(I)式および(II)式は、プレス成形の際の変形ステップにおける曲げモーメント変化を解析することによって導けるものであるが、この経緯を図面を参照しつつ説明する。図7は、プレス成形（特に絞り成形）される金属板の壁部における変形履歴を説明する為の図である。この図において、金属板は図7（a）→図7（b）→図7（c）の様にプレス成形されていくが、金属板における壁反りが発生する部分を着目点として×印で示してある。尚、図7（a）はプレス成形前の段階、図7（b）は曲げの段階、図7（c）は曲げ戻しの段階の夫々を示したものである。

## 【0022】

一方、図8～図10は、上記図7（a）→図7（b）→図7（c）の様にプレス成形した場合の各段階において、金属板（前記着目点×）の板厚方向に作用するひずみ $\varepsilon$ や応力 $\sigma$ の分布、および金属板内の弾性域・塑性域の分布を示したものであり、図8は前記図7（a）の段階、図9は前記図7（b）の段階、図10は図7（c）の段階に、夫々対応するものである。また、離型した後の金属板（前記着目点×）の板厚方向に作用するひずみ $\varepsilon$ や応力 $\sigma$ の分布、および金属板内の弾性域・塑性域の分布を図11に示す。尚図8～11の各（a）図は金属板内の弾性域・塑性域の分布、各（b）図はひずみ $\varepsilon$ の分布、各（c）図は応力 $\sigma$ の分布を、夫々示している。

## 【0023】

まず、前記図7（a）に示した段階では、着目点×において板厚方向全域に亘って弾性域になっており〔図8（a）〕、またひずみ $\varepsilon$ および応力 $\sigma$ の分布も発生していない〔図8（b）、（c）〕。その結果、この段階では曲げモーメントが発生しないことになる。従って、このときに板厚 $t$ の中心部分に働く曲げモー

メント量 $M_{\text{①}}$ は、板厚方向位置 $\eta$ を変数としたときに下記(III)式の様に表せる

【 0 0 2 4 】

【数 1】

$$M_{\text{①}} = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma \cdot \eta d\eta = 0 \quad (\text{III})$$

【 0 0 2 5 】

次に、前記図 7 (b) に示した段階（曲げの段階）では、前記着目点 $\times$ において、金属板の板厚方向の両端面側が塑性域となり、中央部分が弾性域となる [図 9 (a)]。そして、ひずみ $\varepsilon$ の分布は、曲率を $\kappa$  ( $= 1 / r d$  :  $r d$ はダイ肩半径)としたときに、最大ひずみ量が $\kappa \cdot (t / 2)$ のひずみが異方向に発生することになる [図 9 (b)]。また、このときの応力 $\sigma$ の分布は、加工硬化量を見捨てたときには (前記図 6)、最大応力 $\sigma$ が $\sigma_p$  ( $\sigma_p$ は降伏応力)の応力が表面側と裏面側に異なる方向 (圧縮応力と引張応力)に発生することになり [図 9 (c)]、このときの応力分布によって曲げモーメントが発生することになる。そして、金属板の中心部分に働く曲げモーメント量 $M_{\text{②}}$ は、板厚方向位置 $\eta$ を変数とし、板厚中心から弾性域両端部までの距離を夫々 $+y_1$ ,  $-y_1$ としたときには [図 9 (c)]、 $y_1 = \sigma_p / (E \cdot \kappa)$  (但し、 $E$ : ヤング率、 $\kappa$ : 曲率)となるので、下記(IV)式の様に表せる。

【 0 0 2 6 】

【数 2】

$$\begin{aligned} M_{\text{②}} &= \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma \cdot \eta d\eta = \int_{-\frac{t}{2}}^{-y_1} -\sigma_p \cdot \eta d\eta + \int_{-y_1}^{y_1} E \cdot \kappa \cdot \eta d\eta + \int_{y_1}^{\frac{t}{2}} \sigma_p \cdot \eta d\eta \\ &= \frac{t^2}{4} \cdot \sigma_p \cdot \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2\sigma_p}{E \cdot t \cdot \kappa} \right)^2 \right] \\ &= \frac{t^2}{4} \cdot \sigma_p \cdot \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2\sigma_p}{E \cdot t} \cdot r d \right)^2 \right] \quad (\text{IV}) \end{aligned}$$

【 0 0 2 7 】

更に、前記図 7 (c) に示した段階（曲げ戻しの段階）では、材料の着目点×において、全域が一度弾性域に戻った後、前記図 7 (b) の段階とは逆方向で再び降伏していき [図 1 0 (a)]、ひずみ  $\varepsilon$  の分布は発生しない [図 1 0 (b)]。またこのときの応力  $\sigma$  の分布は、加工硬化量を無視したときには、最大応力  $\sigma$  が  $\sigma_p$  ( $\sigma_p$  は降伏応力) の応力が異方向で且つ上記図 9 (c) とは逆の方向に発生することになる [図 1 0 (c)]。このときに金属板の中心部分に働く曲げモーメント量  $M_{\text{㊸}}$  は、板厚方向位置  $\eta$  を変数とし、板厚中心から弾性域両端部（弾塑性境界）までの距離を夫々  $+y_2$ ,  $-y_2$  としたときには [図 1 0 (c)]、 $y_2 = 2 \sigma_p / (E \cdot \kappa)$  (但し、 $E$  : ヤング率、 $\kappa$  : 曲率) となるので、下記(V)式の様に表示する。

【 0 0 2 8 】

【数 3】

$$\begin{aligned}
 M_{\text{㊸}} &= \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma \cdot \eta d\eta = \int_{-\frac{t}{2}}^{-y_2} \sigma_p \cdot \eta d\eta + \int_{-y_2}^{-y_1} (-\sigma_p - E \cdot \kappa \cdot \eta) d\eta \\
 &\quad + \int_{-y_1}^{y_1} 0 \cdot \eta d\eta + \int_{y_1}^{y_2} (\sigma_p - E \cdot \kappa \cdot \eta) d\eta + \int_{y_2}^{\frac{t}{2}} -\sigma \cdot \eta d\eta \\
 &= \frac{t^2}{4} \cdot \sigma_p \cdot \left[ 1 - \frac{7}{3} \left( \frac{2\sigma_p}{E \cdot t \cdot \kappa} \right)^2 \right] \\
 &= \frac{t^2}{4} \cdot \sigma_p \cdot \left[ 1 - \frac{7}{3} \left( \frac{2\sigma_p}{E \cdot t} \cdot rd \right)^2 \right] \quad \text{(V)}
 \end{aligned}$$

【 0 0 2 9 】

そして離型時には、外力が解放されて金属板の板厚方向全域において弾性域になると共に [図 1 1 (a)]、材料のもつ弾性のために有していた曲げモーメント量が 0 となるように弾性回復（壁反り  $\rho$ ）が生じる。この際に板厚方向に生じるひずみ、応力分布は図 1 1 (b) [最大ひずみ  $\varepsilon = \rho \cdot (t / 2)$ ]、図 1 1 (c) のようになる。

【 0 0 3 0 】

そして、上記弾性回復によって軽減される曲げモーメント量  $e$  は、下記(VI)式の様に表示ことができ、また弾性回復は、成形時の応力分布によって生じている

前記曲げモーメント量 $M_{\textcircled{3}}$ を打ち消す様に発生するので、壁反り量 $\rho$ は、下記(VII)式を満足する曲げモーメント量 $M_{\textcircled{4}}$ に対応して発生することになる。

【0031】

【数4】

$$e = \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} E \cdot \rho \cdot \eta^2 d\eta \quad (\text{VI})$$

【0032】

【数5】

$$M_{\textcircled{4}} = M_{\textcircled{3}} - \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} E \cdot \rho \cdot \eta^2 d\eta = M_{\textcircled{3}} - \frac{E \cdot t^3}{12} \rho = 0 \quad (\text{VII})$$

【0033】

上記(VII)式を壁反り量 $\rho$ について整理すると、下記(VIII)式が導かれ、この(VIII)式に前記(V)式の関係代入して整理すると、前記(I)式が導かれることになる。

$$\rho = (12/Et^3) \cdot M_{\textcircled{3}} \quad \dots\dots (\text{VIII})$$

ところで、通常のプレス成形においては、前記(I)式中の右辺第2項中の $7/3 [(2\sigma_p/Et) \cdot rd]^2$ の値は、1よりも非常に小さな値となる。例えば、 $\sigma_p = 600 \text{ MPa}$ ,  $rd = 5 \text{ mm}$ ,  $E = 205800 \text{ MPa}$ ,  $t = 1.2 \text{ mm}$ の場合には、 $7/3 [(2\sigma_p/Et) \cdot rd]^2$ の値は、 $1.38 \times 10^{-3}$  ( $\ll 1$ ) となる。従って、前記(I)式の右辺第2項  $\{1 - 7/3 \cdot [(2\sigma_p/Et) \cdot rd]^2\}$  は、ほぼ1となるので無視してもよく、(I)式は前記(II)式のように更に簡略化できることになる。

【0034】

本発明者らは、種々の材料強度、成形条件による実験により得られた壁反り量の実測値と上記(II)式による予測値とを比較した。尚、このとき用いた実測値は、ダイ肩半径が極小領域以上で且つ張力（しわ押え力）が比較的小さな領域 [図4(d), (e)の破線で囲んだ領域] での採取値である。その結果、壁反り量

を正確に予測する為には、やはり加工硬化を加味する必要があることが分かった。

### 【0035】

そこで本発明者らは、加工硬化の影響をできるだけ反映させる為に、更に検討を重ねた。その結果、前記(II)式の降伏応力 $\sigma_p$ の代りに、図12に示す様に引張強度以下で降伏強度 $\sigma_p$ 超の値を、現実とは異なる加工硬化分を補正したみかけの降伏応力 $\sigma_p'$ とし、このみかけの降伏応力 $\sigma_p'$ に基づいて下記(II)'式によって壁反り量 $\rho$ を予測すれば良いことを見出した。また、上記みかけの降伏応力 $\sigma_p'$ として、実測の降伏強度YSと引張強度TSに基づき下記(1)式により求められる内分値とすることや、下記(1)式の係数を引張強度TSと板厚tの比( $TS/t$ )の関数 $[k = f(TS/t)]$ とすれば、実測値と予測値とは比較的良い一致を示すことも分かった。

$$\rho = (3 \sigma_p' / E t) \quad \dots\dots (II)'$$

但し、 $\rho$ ：壁反り量（曲率； $1/m$ ）、 $\sigma_p'$ ：みかけの降伏強度（MPa）、 $E$ ：ヤング率（MPa）、 $t$ ：板厚（mm）を夫々示す。

$$\sigma_p' = k \cdot YS + (1 - k) TS \quad \dots\dots (1)$$

但し、 $k$ は内分値の係数

### 【0036】

ところで、上記(II)'式では、ダイ肩半径 $r_d$ の影響については表現しきれていないが、本発明者らが実験による実測値の変化具合によって検討したところによれば、上記(II)'式に実験による補正項 $[-C \cdot (r_d - 5)]$ を追加して下記(II)''式となる様な補正を行なえば、予測精度が更に向上することも分かった。

$$\rho = (3 \sigma_p' / E t) - C \cdot (r_d - 5) \quad \dots\dots (II)''$$

### 【0037】

但し、この(II)''式においても、張力（しわ押え力）の影響については、十分に表現しきれていない。つまり、上記(II)''は、張力が比較的小さい領域〔図4（e）の頂点近傍の領域〕でのみ使用可能である。そこで本発明者らは、張力が大きい場合の補正について、実験による実測値の変化具合によって検討した



ところによれば、上記(II)' ' 式に対して、更に下記(2)式となる様な補正を行なえば、良好な予測精度が得られることが分かった。即ち、上記の様に求められる下記(2)式を満足させると共に、みかけの降伏応力 $\sigma_p'$ として、引張試験によって求められる実測の降伏強度 $Y_S$ と引張強度 $T_S$ に基づき下記(3)式[前記(1)式と同じ]により求められる内分値とし、且つ下記(3)式の係数 $k$ を引張強度 $T_S$ と板厚 $t$ の比( $T_S/t$ )の関数[ $k=f(T_S/t)$ ]として下記(4)式を採用すれば、壁反り量 $\rho$ を簡単に且つ正確に予測できたのである。

$$\rho = (3 \sigma_p' / E t) \cdot \{1 - D \cdot [(\sigma_T / T_S) - 0.3]^2\} - C \cdot (r_d - 5) \quad \dots\dots (2)$$

$$\sigma_p' = k \cdot Y_S + (1 - k) T_S \quad \dots\dots (3)$$

$$k = A \cdot (T_S / t) + B \quad \dots\dots (4)$$

但し、 $\rho$ ：壁反り量（曲率； $1/m$ ）、 $\sigma_p'$ ：みかけの降伏強度（MPa）、 $E$ ：ヤング率（MPa）、 $t$ ：板厚（mm）、 $T_S$ ：引張強度（実測値；MPa）、 $Y_S$ ：降伏強度（実測値；MPa）、 $\sigma_T$ ：壁部に働く張力（MPa）、 $r_d$ ：プレス成形用工具のダイ肩半径（mm）、 $k$ ：内分値の係数、 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ：定数、を夫々示す。

#### 【0038】

次に、角度変化量 $\Delta\theta$ を予測する場合について説明する。曲げ成形時には、成形される金属板は、プレス成形用工具としてのパンチの肩部等で曲げ変形を受けることになる。その為に、曲げ成形時の金属板には、絞り成形に場合と同様に板厚方向表裏で異符号の応力差（引張り応力と圧縮応力の差）が生じることになる。そして、こうした応力差は、離型時に外力が解放されて曲げモーメント量が0となるとところで釣り合った状態になっても、その一部が残ることによって、前記の様な角度変化の現象が生じることが知られている。また、角度変化量 $\Delta\theta$ に関しては、下記①～④の傾向があることが知られている。

#### 【0039】

①金属材料の強度（引張強度 $T_S$ ）が大きくなるにつれて、角度変化量 $\Delta\theta$ も大きくなる[図13(a)]。

②金属板の板厚  $t$  が薄くなるにつれて、角度変化量  $\Delta \theta$  が大きくなる [図 1 3 (b)]。

③金属材料のヤング率  $E$  が小さくなるにつれて、角度変化量  $\Delta \theta$  が大きくなる [図 1 3 (c)]。

④曲げ工具（パンチ等）の肩半径  $r_p$  が大きくなるにつれて、角度変化量  $\Delta \theta$  が大きくなる [図 1 3 (d)]。

#### 【0040】

本発明者らは、予測式をより簡単にする為に、前述した壁反り量  $\rho$  の予測式と同様に、現実の材料挙動とは異なるが、材料が加工硬化しないとする応力-ひずみ関係を仮定し [前記図 6]、こうした関係の中でより簡単な予測式を導くことを試みた。但し、曲げ成形時に生じる角度変化不良は、パンチ肩部等の曲げしか受けない部位で発生するから、曲げ戻し現象は考慮しなくても良い。

#### 【0041】

その結果、曲げ変形および弾性回復後の角度変化量  $\Delta \theta$  は、下記 (5) 式および (IX) の様な簡単な式で表現できることが分かった。

$$\Delta \theta = -\theta \cdot (r_p + t/2) \cdot \Delta \rho \quad \dots\dots (5)$$

$$\Delta \rho = (-3 \sigma_p / E t) \cdot \{1 - 1/3 [(2 \sigma_p' / E t) \cdot r_p]^2\} \quad \dots\dots (IX)$$

但し、 $\Delta \theta$  : 角度変化量 (度)、 $\theta$  : 曲げ角度 (度)、 $r_p$  : 曲げ工具の肩半径 (mm)、 $t$  : 板厚 (mm)、 $\Delta \rho$  : 曲率変化量 (1/m)、 $\sigma_p'$  : みかけの降伏強度 (MPa)、 $E$  : ヤング率 (MPa) を夫々示す。

#### 【0042】

上記 (5) 式および (IX) 式は、次の様にして求められる。即ち、曲げ成形後の弾性回復による曲げ部の曲率変化  $\Delta \rho$  は、前記 (VII) 式を求めた場合と同様に、曲げモーメント  $M$ ③を打ち消す様に生じることから、 $\Delta \rho$  は下記 (X) 式を満足する様に発生することになる。

#### 【0043】

【数 6】

$$M_{\infty} - \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} E \cdot \Delta \rho \cdot \eta d\eta = M_{\infty} - \frac{Et^3}{12} \cdot \Delta \rho = 0 \quad (X)$$

【0 0 4 4】

その為、曲率変化量  $\Delta \rho$  については、下記(XI)式の様に表現でき、この式を整理すると前記(IX)式が導かれることになる。

$$\Delta \rho = (-12 / Et^3) \cdot M_{\infty} \quad \dots\dots (XI)$$

一方、上記曲率変化量  $\Delta \rho$  を幾何学的に変換することを考え、曲率変化後も板厚中央部の長さは変化しないので、下記(XIII)式の関係が成立することになり、この(XIII)式を角度変化量  $\Delta \theta$  について整理すると、前記(5)式が導かれる。

$$\begin{aligned} & \theta / [1 / [r_p + (t / 2)]] \\ &= (\theta + \Delta \theta) / [1 / [r_p + (t / 2)] - \Delta \rho] \quad \dots\dots (XIII) \end{aligned}$$

但し、 $\Delta \theta$  : 角度変化量 (度)、 $\theta$  : 曲げ角度 (度)、 $r_p$  : 曲げ工具の肩半径 (mm)、 $t$  : 板厚 (mm)、 $\Delta \rho$  : 曲率変化量 (1/m) を夫々示す。

【0 0 4 5】

尚、通常のプレス成形時に多く用いられている様な、パンチ肩半径が 3 ~ 20 mm 程度のパンチを用いる場合には、上記(IX)式は、上記絞り成形の場合と同様にすれば、下記(XII)式の様に、更に簡略化した式で表現できる

$$\Delta \rho = (-3 \sigma_p / Et) \quad \dots\dots (XII)$$

【0 0 4 6】

また本発明では、加工硬化の影響をできるだけ簡略化して考慮する為に、壁反り量の予測式の場合と同様に、降伏強度  $\sigma_p$  の値として、実測値と異なる加工硬化分を補正したみかけの降伏強度  $\sigma_p'$  として、前記(1)式によって定義される値を用いる。また、上記(XII)式においても、曲げ工具(パンチ等)の肩半径の影響については表現しきれていないので、実測値の変化具合によって判断し、下記(6)式の様な補正を行なえば良い予測精度が得られることが分かった

$$\Delta \rho = (-3 \sigma_p' / Et) \cdot \{1 + \exp(-G \cdot r_p)\} \quad \dots\dots (6)$$

【0 0 4 7】

即ち、上記の様にして求められる（５）式および（６）式と共に、みかけの降伏応力 $\sigma_p'$ として、引張試験によって求められる実測の降伏強度 $Y S$ と引張強度 $T S$ に基づき下記（７）式〔前記（１），（３）式と同じ〕により求められる内分値とし、且つ下記（７）式の係数 $k$ を引張強度 $T S$ と板厚 $t$ の比（ $T S / t$ ）の関数〔 $k = f(T S / t)$ 〕として下記（８）式を採用すれば、角度変化量 $\Delta \theta$ を比較的正確に予測できたのである。

$$\sigma_p' = k \cdot Y S + (1 - k) T S \quad \dots\dots (7)$$

$$k = A \cdot (T S / t) + B \quad \dots\dots (8)$$

但し、 $\sigma_p'$ ：みかけの降伏強度（ＭＰａ）、 $E$ ：ヤング率（ＭＰａ）、 $Y S$ ：降伏強度（実測値；ＭＰａ）、 $T S$ ：引張強度（実測値；ＭＰａ）、 $k$ ：内分値の係数、 $A$ 、 $B$ 、 $G$ ：定数、を夫々示す。

【００４８】

以下、本発明の効果を実施例によって更に具体的に示すが、下記実施例は本発明を限定するものではなく、前・後記の趣旨に徴して設計変更することはいずれも本発明の技術的範囲に含まれるものである。

【００４９】

【実施例】

#### 実施例 1

まず、張力が比較的小さい領域〔前記図４（ｅ）参照〕での予測精度について確認を行なった。下記表１に示す降伏強度 $Y P$ 、引張強度 $T S$ および板厚 $t$ の各種鋼板を用い、同表１に示す成形条件（ダイ肩半径 $r d$ ）でハットチャンネル部材の成形実験を行なった。このとき、壁反り量に及ぼす張力 $\sigma_T$ の影響ができるだけ小さくなる様に、張力 $\sigma_T$ と引張強度 $T S$ の比（ $\sigma_T / T S$ ）がほぼ一定〔０．３程度：前記図４（ｅ）の頂点近傍の領域〕となる様に $B H F$ （しわ押さ力）を調整した。

【００５０】

【表 1】

No.	降伏強度YS (MPa)	引張強度TS (MPa)	板厚t (mm)	ダイ肩半径rd (mm)
1	608	1009	1.2	5
2	373	608	1.4	5
3	406	596	1.2	5
4	362	457	1.0	5
5	351	450	1.0	5
6	277	444	1.6	5
7	177	306	1.2	5
8	406	596	1.2	5
9	463	611	1.4	5
10	324	616	1.4	5
11	373	608	1.4	15
12	406	596	1.2	15
13	362	457	1.0	15
14	351	450	1.0	15
15	277	444	1.6	15
16	177	306	1.2	15
17	463	611	1.4	15
18	324	616	1.4	15

## 【0051】

その際の壁反り量（曲率） $\rho$ について、実測値（ $\rho_{mes}$ ）と、前記（2）～（4）式に基づく予測値（ $\rho_{cal}$ ）を、比較して図14に示すが、両者には高い相関関係が認められ、良好な精度で壁反り量が予測できていることが分かる。

## 【0052】

次に、下記表2に示す降伏強度YP、引張強度TSおよび板厚tの各種アルミ板（3000系,7000系）を用い、同表2に示す成形条件（ダイ肩半径rd）で、比較的張力が小さい領域〔前記図4（e）参照〕でハットチャンネル部材の成形実験を行ない、上記と同様にして、壁反り量（曲率） $\rho$ の実測値（ $\rho_{mes}$ ）と、前記（2）～（4）式に基づく予測値（ $\rho_{cal}$ ）を比較した。その結果を、図15に示すが、両者には高い相関関係が認められ、良好な精度で壁反り量が予測できていることが分かる。

## 【0053】

【表 2】

No.	降伏強度YS (MPa)	引張強度TS (MPa)	板厚t (mm)	ダイ肩半径rd (mm)
19	73	177	1.0	3
20				5
21				10
22	58	153	1.0	5
23	131	284	1.0	5

## 【0054】

次に、張力 $\sigma_T$ が比較的大きな領域での予測精度についても確認を行なった。  
 このとき、前記表1のNo. 2のものについて、BHF（しわ押さ力）を調整して張力 $\sigma_T$ を200MPa、300MPaおよび450MPaと変化させて成形を行なったときの壁反り量について、上記と同様にして、壁反り量（曲率） $\rho$ の実測値（ $\rho_{mes}$ ）と、前記（2）～（4）式に基づく予測値（ $\rho_{cal}$ ）を比較した。その結果を、図16に示すが、両者には高い相関関係が認められ、良好な精度で壁反り量が予測できていることが分かる。

## 【0055】

尚、上記実験で用いた（2）～（4）式における、定数A、B、C、Dの値は、夫々 $A=-9.708 \times 10^{-4}$ 、 $B=0.8161$ 、 $C=1.082 \times 10^{-4}$ 、 $D=3.559$ である。

## 【0056】

実施例 2

角度変化量 $\Delta\theta$ の予測式の予測精度について、基礎曲げ実験によって評価を行なった。まず、下記表3に示す降伏強度YP、引張強度TSおよび板厚tの各種鋼板を用い、同表3に示す成形条件（パンチ肩半径 $r_p$ ）でL曲げ成形実験を行なった。L曲げ成形実験の状態を模式的に図17に示す。

## 【0057】

【表 3】

No.	降伏強度YS (MPa)	引張強度TS (MPa)	板厚t (mm)	パンチ肩半径rp (mm)
24	176	318	1.2	1
25				5
26				10
27	425	647	1.2	1
28				5
29				10
30	672	1032	1.2	1
31				5
32				10
33	1183	1327	1.2	1
34				5
35				10
36	373	608	1.4	1
37				5
38				10

## 【0058】

その際の角度変化量 $\Delta\theta$ について、実測値( $\Delta\theta_{mes}$ )と、前記(5)～(8)式に基づく予測値( $\Delta\theta_{cal}$ )を、比較して図18に示すが、両者には高い相関関係が認められ、良好な精度で角度変化量が予測できていることが分かる。

## 【0059】

次に、パンチ肩半径 $r_p$ が比較的大きな領域での予測精度について確認するために、下記表4に示す降伏強度 $Y_P$ 、引張強度 $T_S$ および板厚 $t$ の鋼板を用い、同表4に示す成形条件(パンチ肩半径 $r_p$ )でU曲げ成形実験を行なった。U曲げ成形実験の状態を模式的に図19に示す。

## 【0060】

【表 4】

No.	降伏強度YS (MPa)	引張強度TS (MPa)	板厚t (mm)	パンチ肩半径rp (mm)
39	375	610	1.4	4.8
40				9.0
41				18.0
42				38.0

【0061】

その際の角度変化量 $\Delta\theta$ について、実測値( $\Delta\theta_{mes}$ )と、前記(5)～(8)式に基づく予測値( $\Delta\theta_{cal}$ )を、比較して図20に示すが、両者には高い相関関係が認められ、良好な精度で角度変化量が予測できていることが分かる。

【0062】

尚、上記実験で用いた(5)～(8)式における、定数A、Bの値は、上記実施例1と同じであり、 $G=0.1012$ である。

【0063】

【発明の効果】

本発明は以上の様に構成されており、経験・技術蓄積を有さない技術者が、数値シミュレーション等の専門知識を有せずとも、プレス成形時の寸法精度不良量を簡便且つ正確に予測できるようになり、こうした方法は、近年特に重要問題とされている寸法精度不良に対して早急且つ効果的に寸法精度向上対策を打ち出すことが可能となり、その技術的意義は極めて大きいものと期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

ハットチャンネル部材の外観形状例を示す説明図である。

【図2】

ハットチャンネル部材の主な成形方法を示す概略説明図である。

【図3】

本発明で対象とする寸法精度不良を説明する為の図である。

【図4】



壁反りに及ぼす主な影響因子と壁反り量  $\rho$  との関係を示したグラフである。

【図 5】

従来の予測手法で用いられている応力-ひずみ線図である。

【図 6】

弾完成塑性体（加工硬化の考慮なし）を仮定した応力-ひずみ線図である。

【図 7】

プレス成形される材料の壁部における変形履歴を説明する為の図である。

【図 8】

図 7（a）の段階において、材料（前記着目点×）の板厚方向に作用するひずみ  $\varepsilon$  や応力  $\sigma$  の分布、および材料内の弾性域・塑性域の分布を示した図である。

【図 9】

図 7（b）の段階において、材料（前記着目点×）の板厚方向に作用するひずみ  $\varepsilon$  や応力  $\sigma$  の分布、および材料内の弾性域・塑性域の分布を示した図である。

【図 10】

図 7（c）の段階において、材料（前記着目点×）の板厚方向に作用するひずみ  $\varepsilon$  や応力  $\sigma$  の分布、および材料内の弾性域・塑性域の分布を示した図である。

【図 11】

離型した後の材料（前記着目点×）の板厚方向に作用するひずみ  $\varepsilon$  や応力  $\sigma$  の分布、および材料内の弾性域・塑性域の分布を示した図である。

【図 12】

本発明で用いる応力-ひずみ線図である。

【図 13】

角度変化に及ぼす主な影響因子と角度変化量  $\Delta \theta$  との関係を示したグラフである。

【図 14】

表 1 に示した各種鋼板の壁反り量（曲率） $\rho$  について、実測値（ $\rho_{mes}$ ）と、前記（2）～（4）式に基づく予測値（ $\rho_{cal}$ ）を、比較して示したグラフである。

【図 15】

表 2 に示した各種アルミ板の壁反り量（曲率） $\rho$  について、実測値（ $\rho_{me s}$ ）と、前記（2）～（4）式に基づく予測値（ $\rho_{c a l}$ ）を、比較して示したグラフである。

【図 1 6】

張力 $\sigma_T$ が比較的大きな場合の壁反り量（曲率） $\rho$  について、実測値（ $\rho_{me s}$ ）と、前記（2）～（4）式に基づく予測値（ $\rho_{c a l}$ ）を、比較して示したグラフである。

【図 1 7】

L 曲げ成形実験の状態を示す模式図である。

【図 1 8】

表 3 に示した各種鋼板の角度変化量 $\Delta \theta$  について、実測値（ $\Delta \theta_{me s}$ ）と、前記（5）～（8）式に基づく予測値（ $\Delta \theta_{c a l}$ ）を、比較して示したグラフである。

【図 1 9】

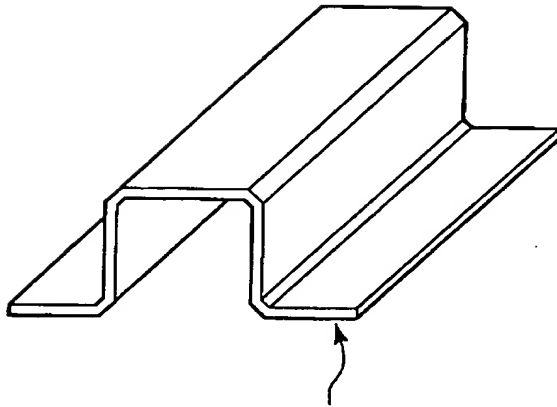
U 曲げ成形実験の状態を示す模式図である。

【図 2 0】

U 曲げ成形時の角度変化量 $\Delta \theta$  について、実測値（ $\Delta \theta_{me s}$ ）と、前記（5）～（8）式に基づく予測値（ $\Delta \theta_{c a l}$ ）を、比較して示したグラフである。

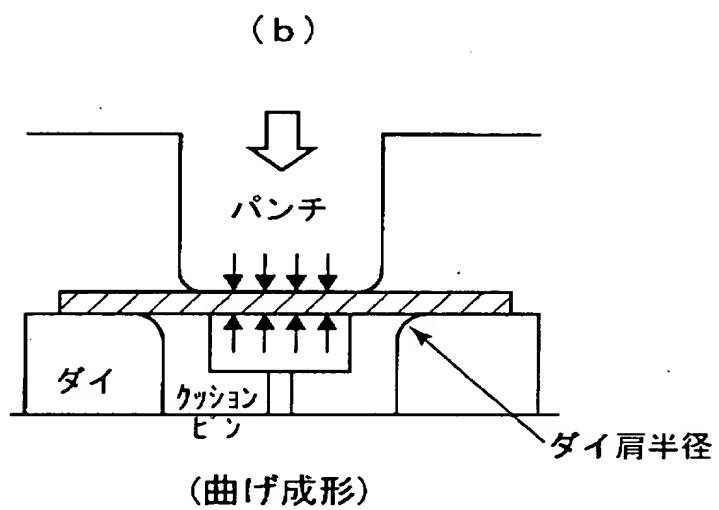
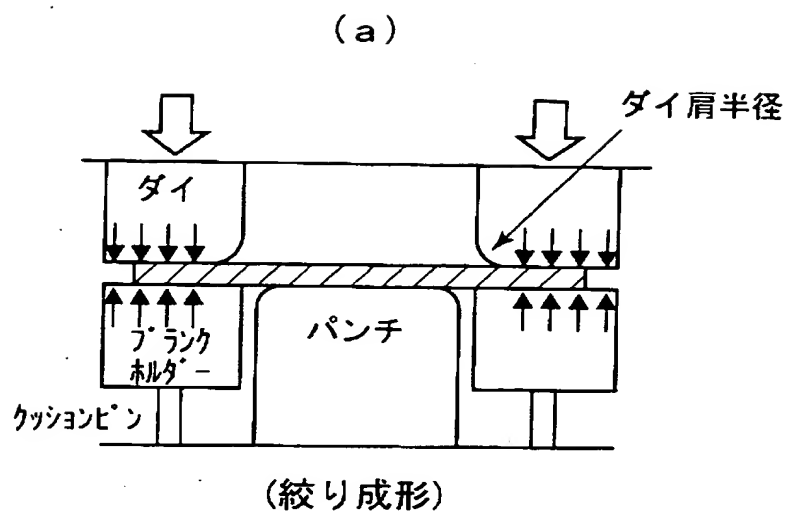
【書類名】 図面

【図 1】

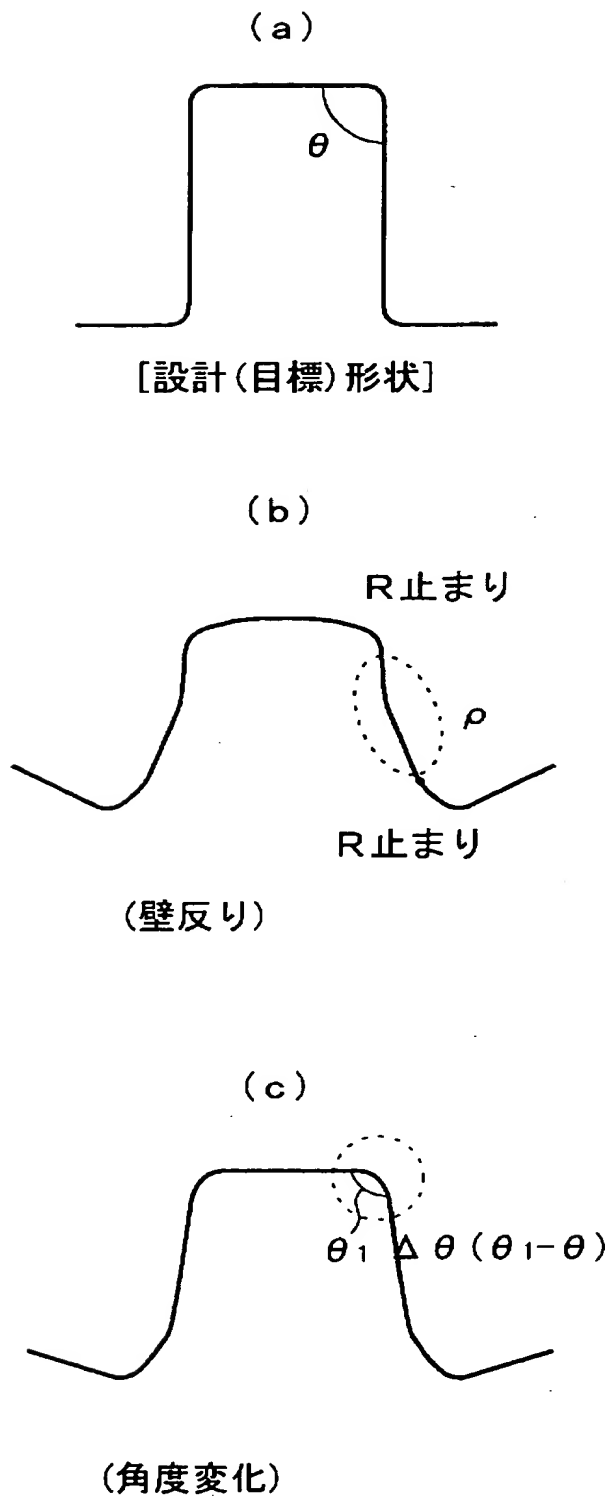


ハットチャンネル部材

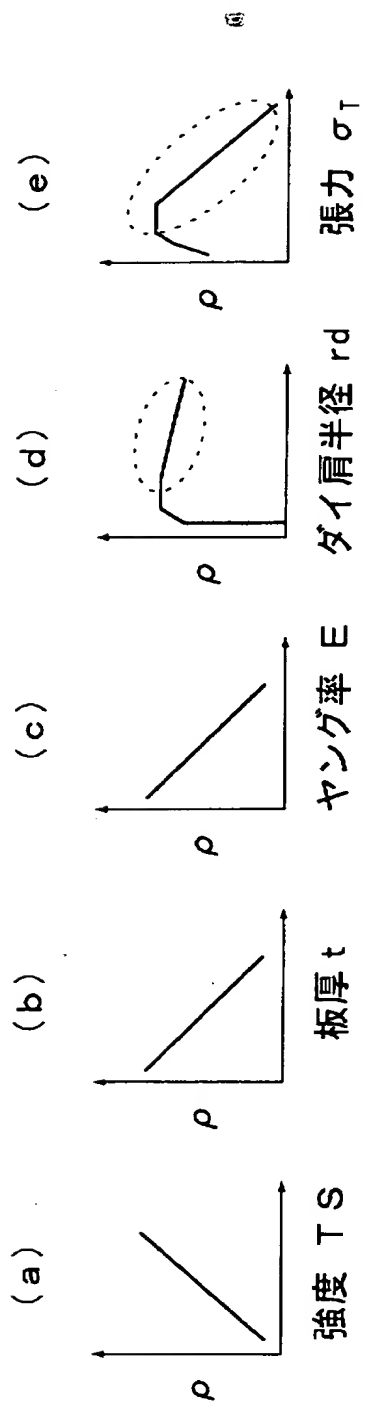
【図 2】



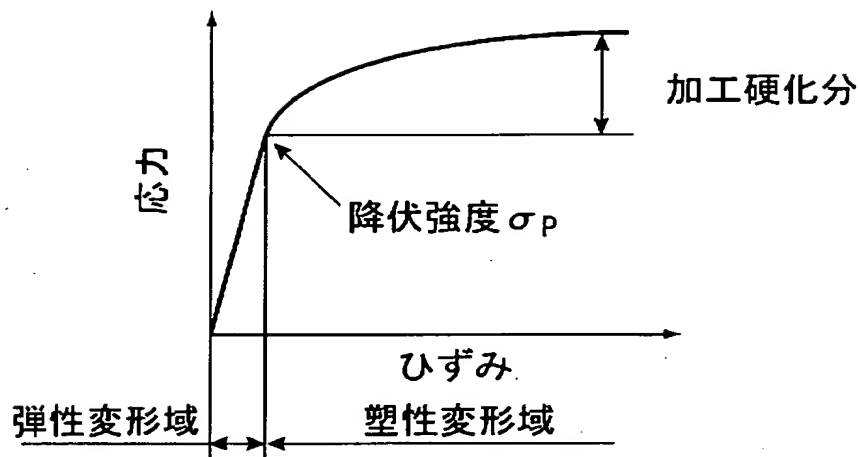
【図 3】



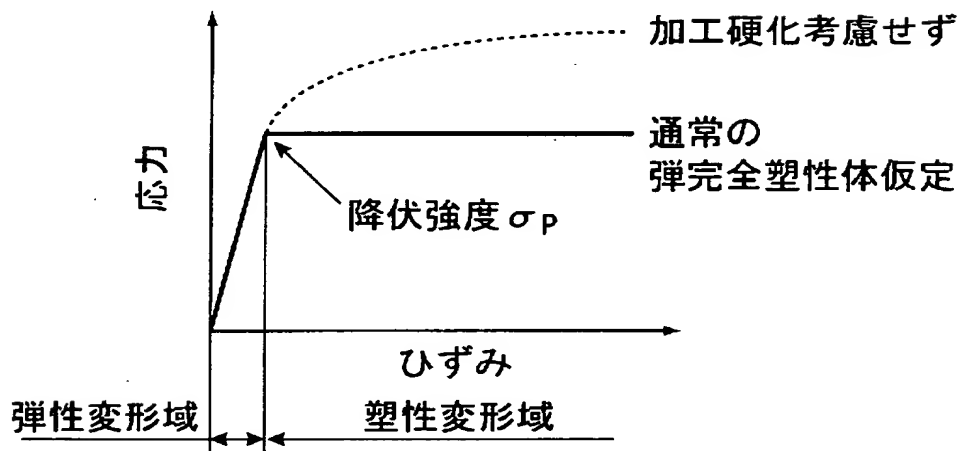
【図 4】



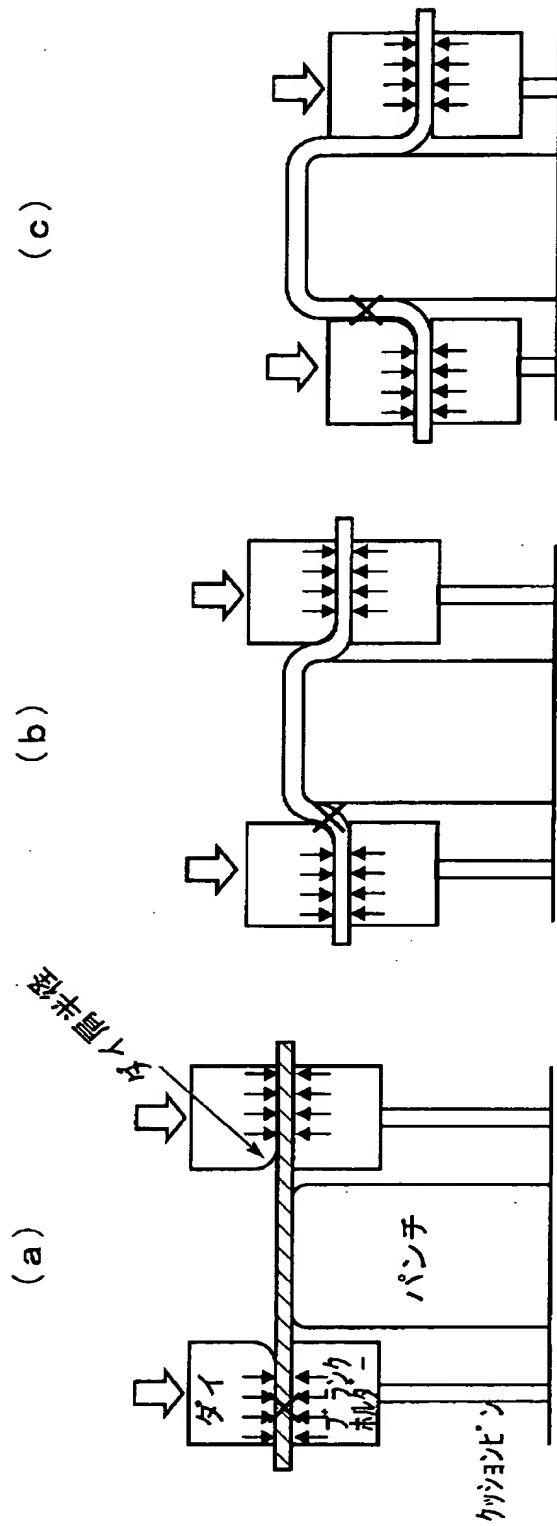
【図 5】



【図 6】

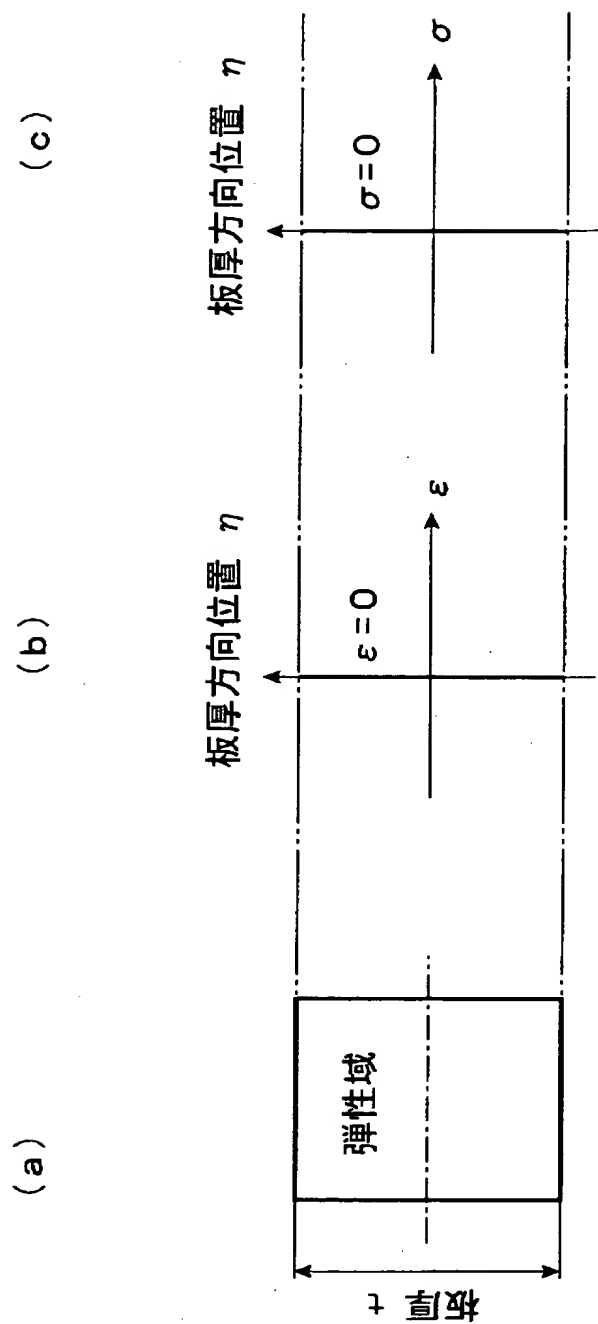


【図 7】

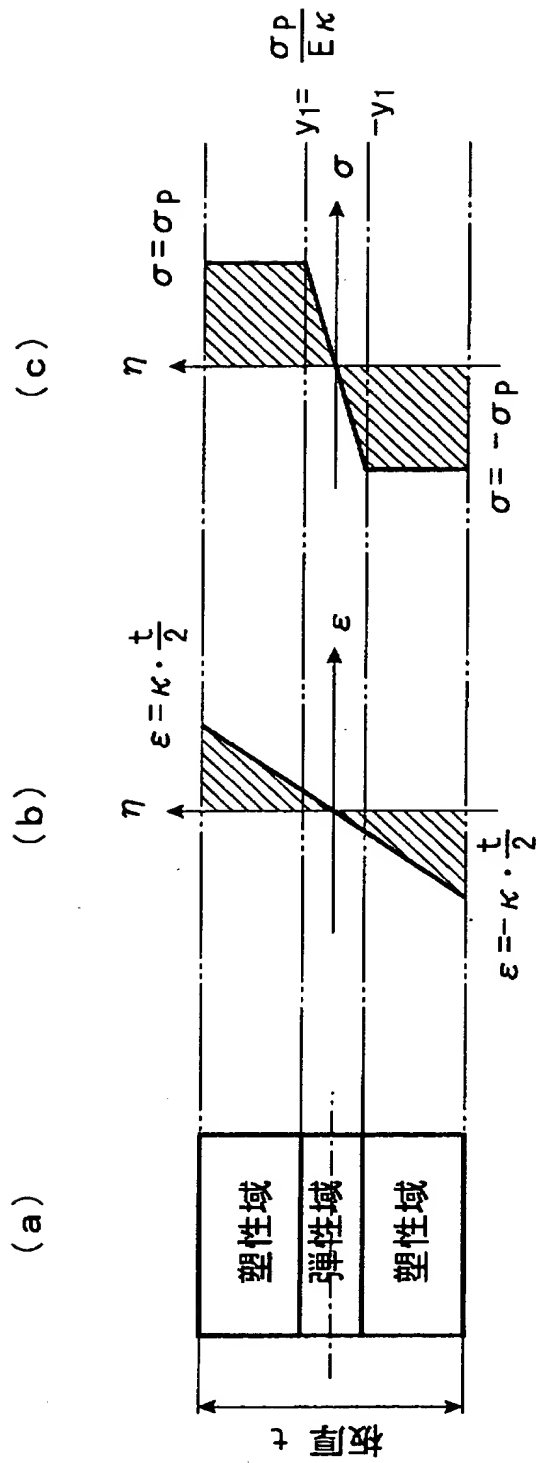




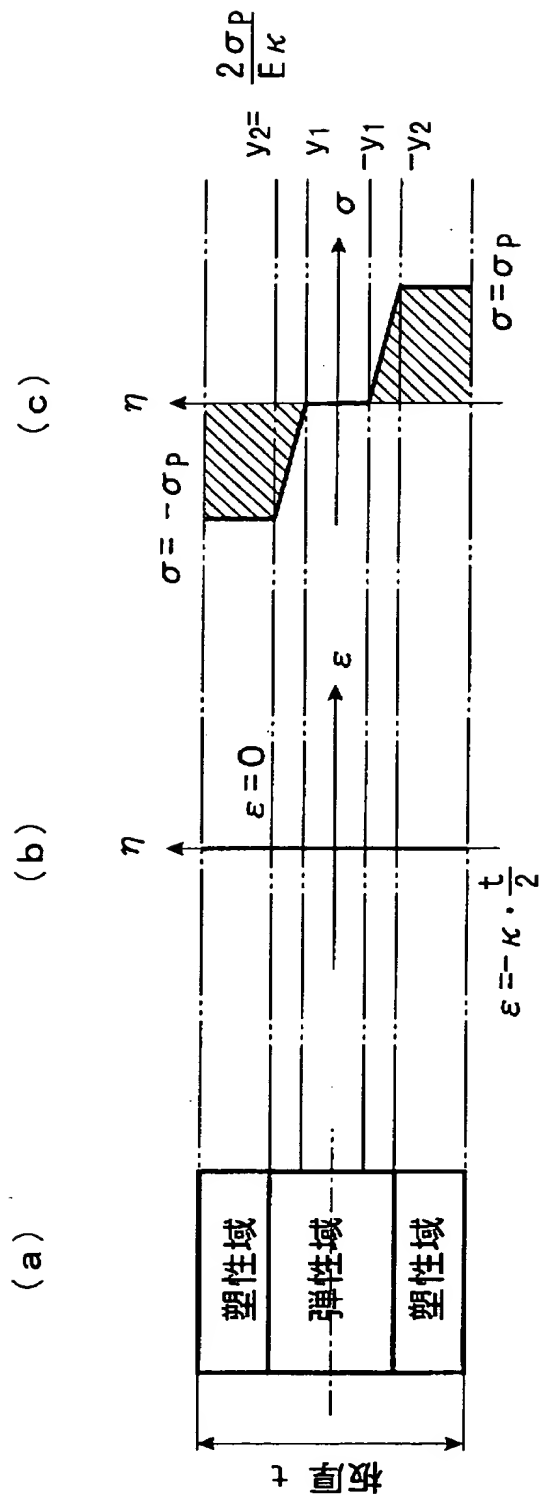
【図 8】



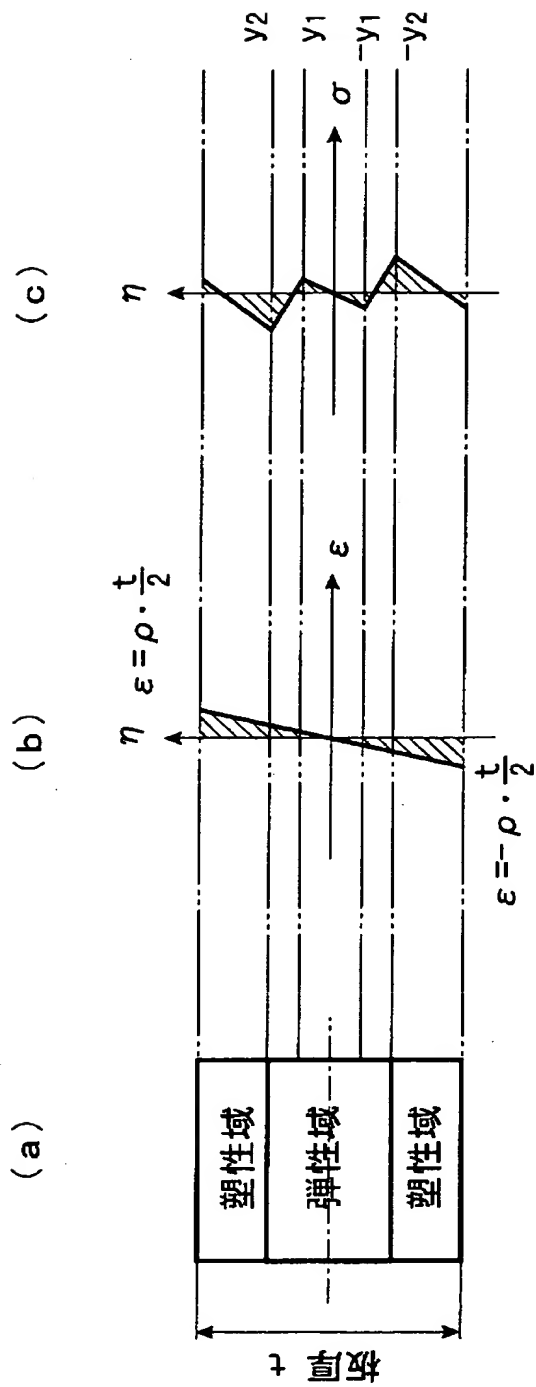
【図 9】



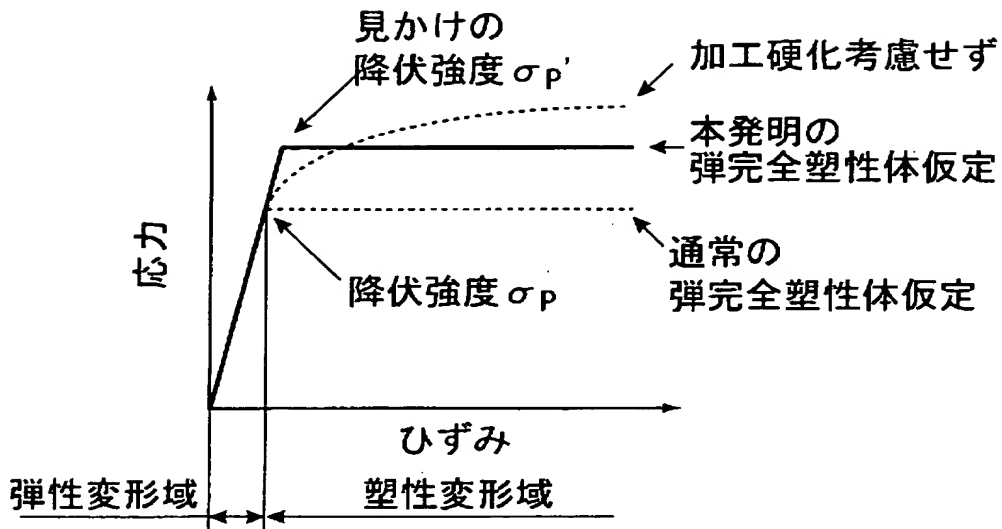
【図10】



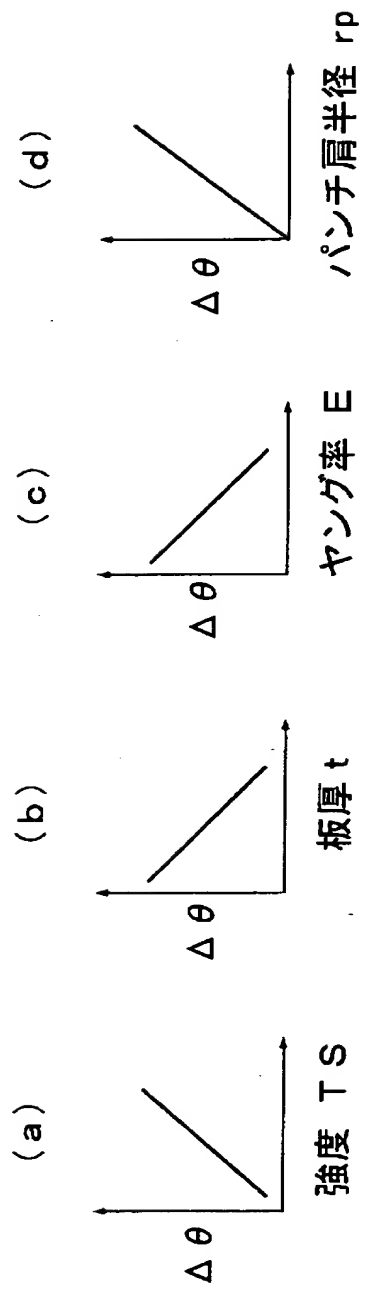
【図 1 1】



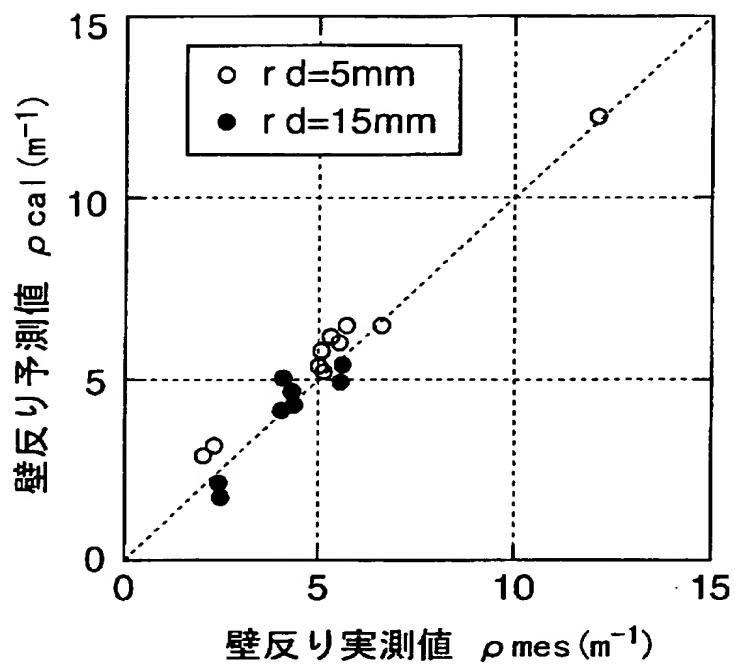
【図 1 2】



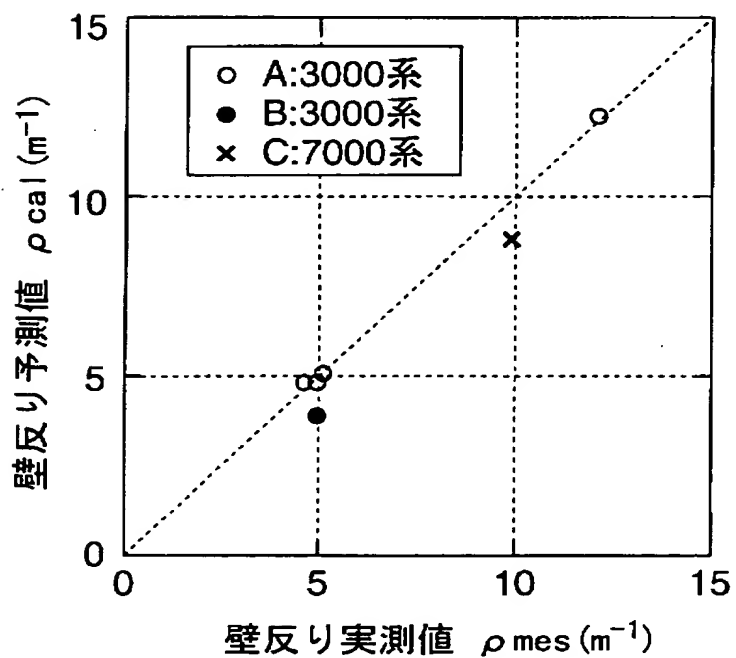
【図 1 3】



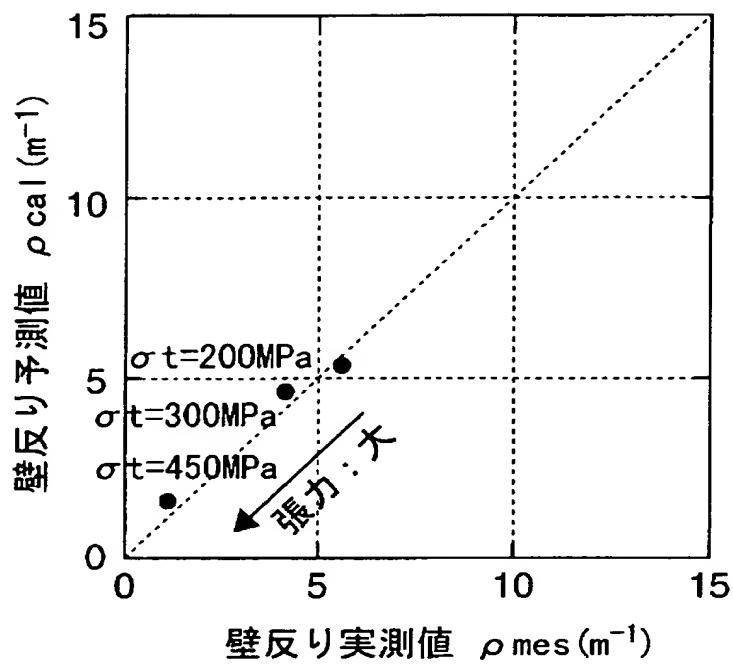
【図 14】



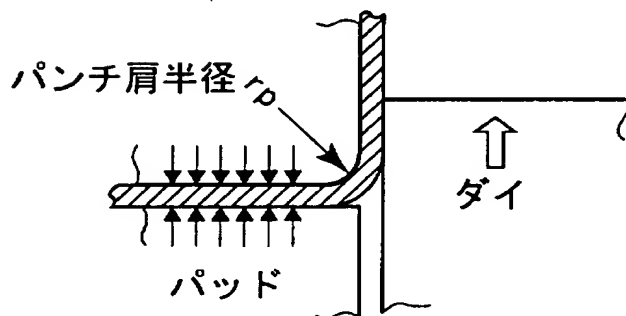
【図 15】



【図 16】

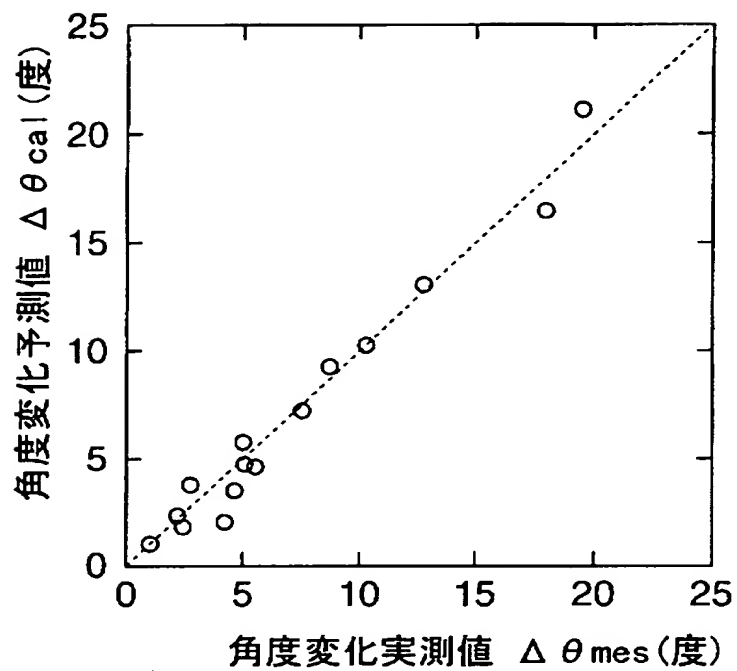


【図 17】

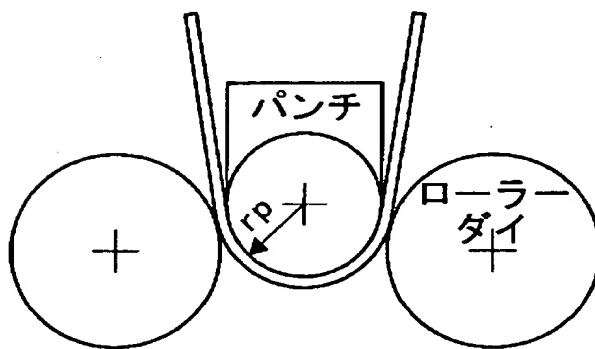




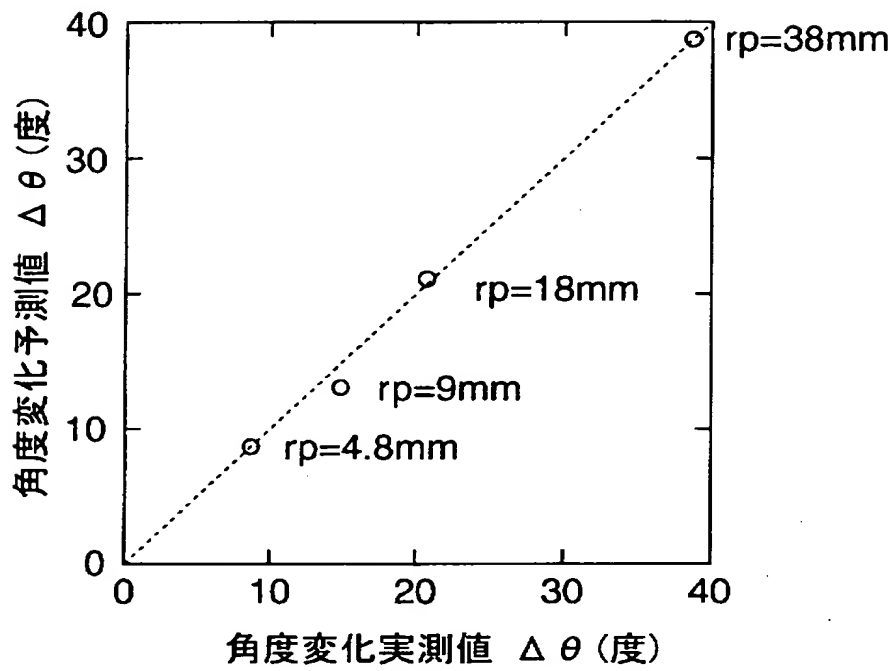
【図 18】



【図 19】



【図 2 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 経験・技術蓄積を有さない技術者が、数値シミュレーションや数学等の専門知識を有さずとも、金属板のプレス成形時における寸法精度不良量を、プレス成形前に予め簡単に且つ正確に予測することのできる方法を提供する。

【解決手段】 金属板のプレス成形時における寸法精度不良量を予測するに際し、応力-ひずみ関係として、降伏後は一定の応力値を有する弾完全塑性体モデルを採用すると共に、引張強度以下で降伏強度超の値をみかけの降伏強度として用いる。

【選択図】 図 1 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 1 1 9 9 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由] 新規登録

住 所 兵庫県神戸市中央区脇浜町 1 丁目 3 番 1 8 号

氏 名 株式会社神戸製鋼所